

Impactos negativos de la erosión hídrica mediante el aporte de sedimentos en la cuenca alta del río Moche, La Libertad, 2020

Treyssi Stephany Mantilla Jara

treyssi.mantilla.jara@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-5483-2078>

Ingeniera Ambiental, Universidad Privada del Norte,
Trujillo, Perú

Carlos Alberto Alva Huapaya

car.alva@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-0983-3151>

MSc. en Ingeniería de Recursos Hídricos,
Ingeniero Ambiental, Docente de la Facultad de Ingeniería,
Universidad Privada del Norte,
Lima, Perú

RESUMEN

La presente investigación determina los impactos negativos de la erosión hídrica mediante el aporte de sedimentos en la cuenca alta del río Moche, La Libertad. Su proceso metodológico consistió en ubicar dos zonas: verde y desnuda, dentro de un área de influencia de 15 Km de radio entorno a la estación meteorológica del distrito Salpo; posteriormente, se usaron los parámetros necesarios de las zonas de estudio de los años 2003, 2013 y 2020, para el aporte de sedimentos mediante el Método de Namba. Como resultado, la pérdida de suelo en la cuenca alta del Río Moche encontrada en la Zona Verde en la Época de Altas Precipitaciones fue de 7.21, 6.71 y 6.91 t/ha/año respectivamente; sin embargo, en Época de Bajas Precipitaciones fue de 5.51, 5.11 y 5.20 t/ha/año respectivamente. Para la Zona Desnuda en la Época de Altas Precipitaciones fue de 9.03, 8.85 y 8.96 t/ha/año respectivamente; y para la Época de Bajas Precipitaciones fue de 7.33, 7.25 y 7.25 t/ha/año respectivamente, teniendo un riesgo de erosión moderado de grado 3, en ambas zonas y épocas de precipitaciones.

Palabras clave: erosión hídrica; aporte de sedimentos; cuenca hidrográfica; escorrentía; precipitación

Negative impacts of water erosion through the contribution of sediments in the upper basin of the moche river, la libertad, 2020

ABSTRACT

This research determines the negative impacts of water erosion through the contribution of sediments in the upper basin of the Moche river, La Libertad. Its methodological process consisted in locating two zones: green and bare, within an area of influence of 15 km radius around the meteorological station of the Salpo district; Subsequently, the necessary parameters of the study areas of the years 2003, 2013 and 2020 were used for the contribution of sediments using the Namba Method. As a result, the loss of soil in the upper basin of the Moche River found in the Green Zone in the High Precipitation Season was 7.21, 6.71 and 6.91 t / ha / year respectively; However, in the Low Rain Season it was 5.51, 5.11 and 5.20 t / ha / year respectively. For the Naked Zone in the Season of High Precipitation it was 9.03, 8.85 and 8.96 t / ha / year respectively; and for the Season of Low Rainfall it was 7.33, 7.25 and 7.25 t / ha / year respectively, having a moderate risk of erosion of grade 3, in both zones and times of rainfall.

Keywords: water erosion; sediment input; river basin; runoff; precipitation

Artículo recibido: 15 octubre. 2021

Aceptado para publicación: 18 noviembre 2021

Correspondencia: treysi.mantilla.jara@gmail.com

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

1. INTRODUCCIÓN

Uno de las mayores preocupaciones medio-ambientales en el mundo es la degradación y erosión de los suelos, así como, la escasez de los recursos hídricos. Es común encontrar zonas con evidencia de erosión de suelo, esto es relacionado a la falta de agua, como se da en casos de sequías. Además de este tipo de erosión que se da por falta del recurso de agua, también existe la Erosión Hídrica, que tiene efectos negativos sobre la calidad del agua superficial que pasa sobre el suelo, debido a que aumenta la turbidez del agua, y cuando llega a una planta de tratamiento de agua potable, que generalmente se encuentra en la cuenca baja, causa dificultad en el mismo; de la misma forma afecta al suelo mismo, ya que arrastra cantidades grandes de nutrientes que son necesarios para la fertilidad de éste en campos de cultivos, y según la FAO (2015, pág. 29) los países más afectados por este problema son: Estados Unidos, Canadá, China, y países del norte de Europa. Asimismo, reforestar con las especies forestales adecuadas puede ser una alternativa de solución, ya que la vegetación constituye un factor regulador en los procesos hidrológicos debido a que actúa de barrera capaz de interceptar las precipitaciones, variando su flujo y distribución bajo el área de su cobertura (Luna, Moreno, Roldán, & Cienfuegos, 2011).

En Latinoamérica, la erosión hídrica es considerada una de las más importantes, ya que tienen un impacto en grandes sectores de la población regional, en particular aquellas concentradas en las regiones montañosas de los Andes, América Central, México y el Caribe. La erosión hídrica y deslizamientos de tierra ocurren principalmente en laderas empinadas que han sido deforestadas o en zonas montañosas secas que se utilizan como pastos y que han sido objeto de sobrepastoreo. La erosión y los deslizamientos de tierra eliminan suelo fértil, afectando la productividad de los cultivos, lo que hace más difícil la labranza. Además, la producción de sedimentos perjudica a los campos y a la infraestructura aguas abajo, causando inundaciones en las zonas planas, las que podría aumentar a futuro por el efecto del cambio climático. (FAO, 2015, párr. 17).

Nuestro país es muy heterogéneo en las propiedades de sus suelos en su relación con la erosión (erodabilidad) y con la incidencia de la precipitación, la misma que fluctúa alrededor de 10 a 3000 mm por año, con una distribución anual irregular, siendo menor (estiaje) en el periodo de abril a noviembre y mayor de diciembre a marzo (avenida) (Huerta & Loli, 2014, pág. 15). La pérdida de suelos por erosión hídrica en el Perú es un grave problema ambiental que afecta y pone en riesgo la seguridad hídrica y seguridad

alimentaria; toda vez que este fenómeno es más crítico y agresivo en zonas altoandinas que son proveedoras de los principales servicios ecosistémicos hídricos y el espacio donde se desarrolla importante actividad agrícola para la provisión de alimentos a las grandes ciudades costeñas (Sabino, Felipe, & Lavado, 2017, pág. 4). Además, el Perú en los últimos años está pasando por un grave desastre de deslizamientos de tierra, producto de las fuertes precipitaciones provenientes de las cuencas altas ubicadas en la sierra. Esto se debe al mal manejo de suelos, debido a que no existe cobertura vegetal ni forestal que funcionen como amortiguador de las escorrentías de agua. La influencia de la cobertura vegetal adquiere mayor importancia en masas forestales, donde provoca cantidades importantes de interceptación de las precipitaciones (Huber & Oyarzún, 1983 citados en Luna, et al. 2011), así como también disminución de los caudales (Calder 1992, Iroumé, & Huber 2000 citados en Luna, et al. 2011). Una parte del agua de lluvia es interceptada por el dosel (interceptación) y otra parte llega al suelo conducido por el tronco (escorrentía cortical) o cayendo directamente desde las ramas o las hojas (trascolación), formando ambas lo que se denomina precipitación neta (Luna, et al. 2011).

El escurrimiento superficial del río Moche se debe al volumen de agua que proviene de las precipitaciones que se dan en la Cuenca Alta de Moche que se encuentra dentro de Otuzco. Se debe tener en cuenta que, la mayoría de los suelos estudiados y dedicados a cultivos transitorios en la provincia de Otuzco se encuentran dañados por relevantes procesos de degradación por erosión hídrica, influenciado por la pendiente e inadecuado manejo de los suelos (Huerta, & Loli, 2014, pág. 15) y falta de una adecuada cobertura vegetal y forestal la cual cubre gran parte de la serranía liberteña.

2. ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS Y MÉTODOS

2.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

a. Ubicación del área de estudio

La ubicación del área de estudio se realizó previa identificación de zonas verdes y desnudas ubicadas en la cuenca alta de Moche, eligiéndose las que estuvieran más cercanas a los ríos de las quebradas. Para ello se cuenta con:

- Un mapa de ubicación de la zona realizada mediante Google Earth.
- Ubicación de coordenadas UTM.

b. Elaboración de mapas temáticos

Mediante geo portales nacionales del Instituto Geográfico Nacional, obtuvimos datos en formatos shape y raster, esenciales para poder elaborar mapas temáticos de la cuenca alta de Río Moche. La información obtenida a base de los mapas hechos se usó para darle base a la investigación y también para ser usada en la discusión del presente tema.

- Geo portales
- Shapes y ráster
- Arcgis

c. Recolección de información climática del área de estudio

Mediante el Visor de Estaciones del portal del Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SNIRH) de la ANA en se obtuvo información climática variada de las estaciones cercanas al área de estudio ubicadas en la cuenca alta. Además, también se usaron los datos meteorológicos del Portal del SENAMHI para complementar la información climática de los tiempos faltantes del Portal de Estaciones de la ANA. Toda la información relacionada se detalló en una hoja de Excel mediante tablas dinámicas para una mejor lectura y resultado.

- Hojas de Excel

2.2. Procedimiento

a. Ubicación de la zona de estudio

Mediante el programa Arcgis se ubicó la Cuenca del Río Moche, sus distritos, así como los ríos y quebradas que la conforman. Asimismo, se determinó el área de la cuenca, siendo esta 2134 km², con una altura máximo de 4280 m.s.n.m.

La presente investigación se enfocó dentro de la cuenca del Río Moche, específicamente en la *Cuenca Alta*, que cuenta con un área aproximada de 904 km², ya que el problema se centra en la erosión hídrica, la cual es más evidente en la parte alta de la cuenca. Por ello, se identificó los distritos que conforman la parte alta de la misma, para luego ubicar el establecimiento de las áreas de estudio pertinentes. Según la información obtenida de los formatos geográficos del Instituto Geográfico Nacional, del cual se elaboraron mapas temáticos en Arcgis, la altura máxima de la cuenca del Río Moche es de 4280 m.s.n.s.m. con una altura mínima es de 0 m.s.n.s.m. la cual desemboca en el Océano Pacífico en la ciudad de Trujillo. Esta información también fue corroborada usando el programa de Google Earth.

b. Ubicación de las áreas de estudio

Se ubicaron las áreas más adecuadas para hacer el estudio correspondiente, teniendo en cuenta que estén ubicados en la parte alta de la cuenca, además de estar dentro del radio de 15 km de la estación meteorológica escogida.

Tabla 1. Coordenadas del área de estudio

Área	Coordenadas UTM	
Zona Verde	774190.00 m E	9115663.00 m S
Zona Desnuda	768005.00 m E	9126678.00 m S

Fuente: Elaboración propia

Figura 1. Ubicación del área de estudio: zona desnuda y zona verde

Fuente: Elaboración propia.

c. Estudio de las estaciones meteorológicas

En base a la información obtenida del portal de la ANA y el SENAMHI, se escogió la estación meteorológica de Salpo debido a que es la única estación operativa que contiene los datos meteorológicos actualizados de los últimos 22 años, los cuales fueron de precipitación, además de los datos de temperatura máxima y mínima, velocidad de viento y humedad relativa. Cabe aclarar que no se consideraron la información de las otras estaciones de la cuenca alta debido a que no tenían datos completos por lo que no eran confiables para el procedimiento de la investigación.

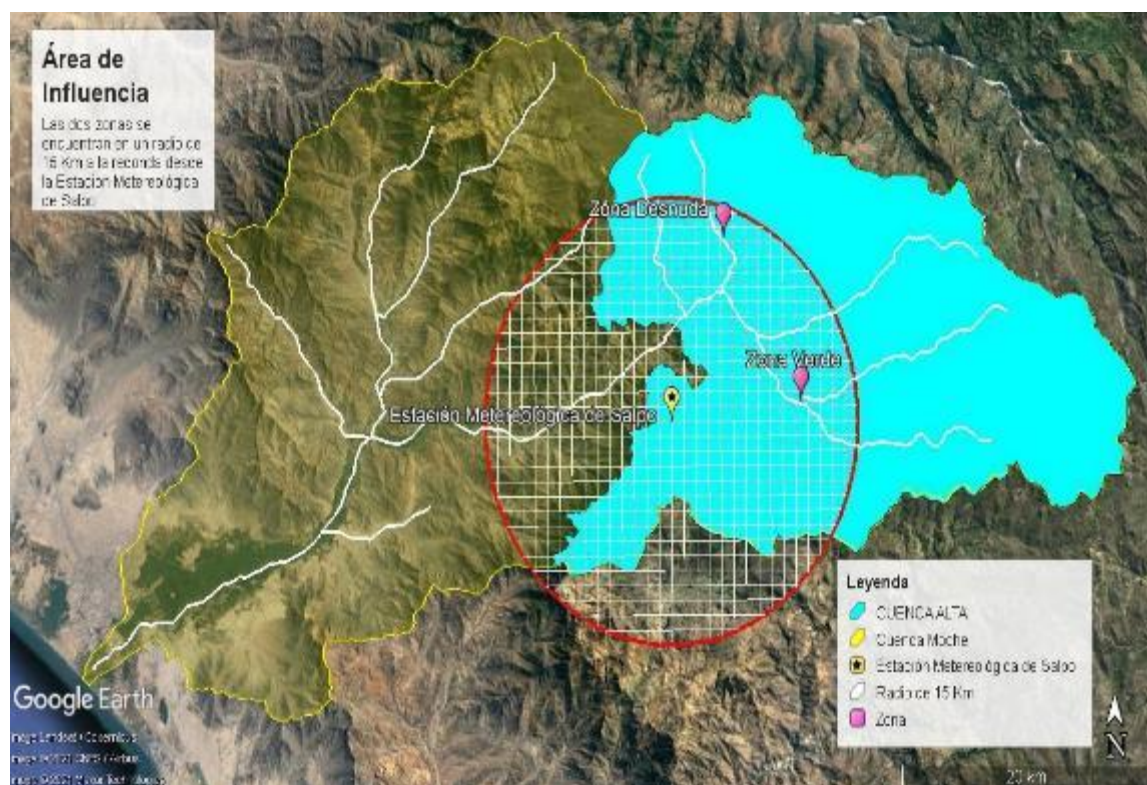
Tabla 2. Estación meteorológica de Salpo

ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE CUENCA DEL RIO MOCHE						
Estación	Código	Coordenadas UTM		Tipo 1	Tipo 2	Estado
						Altura (m.s.n.m)
SALPO	000398	763765.2 m E	9114345.2 m S	Convencional	Climática	Operativo

Fuente: Elaboración propia en base a la información de la ANA y SENAMHI

d. Área de Influencia

Se determinó el área de influencia en base a un radio de 15 km que abarcó las áreas de estudio de la zona desnuda y la zona verde a partir de la Estación Meteorológica de Salpo de la Estación Meteorológica de Salpo, del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI); además de crear el radio de 15 km, también se creó una malla de 1 km² que cubrió toda el área de influencia, esta malla nos ayudó más adelante en la delimitación de las áreas de las dos zonas de estudio.

Figura 2. Área de influencia

Fuente: Elaboración propia.

e. Delimitación de áreas de las zonas de estudio

A continuación, se usó el programa de Google Earth para poder obtener las imágenes satelitales de las dos zonas de estudio, escogidas como muestras para el presente estudio, y así delimitar las áreas verdes y desnudas de los años 2003, 2013 y 2020, datos relevantes para poder usar el Método de Namba y obtener el aporte de sedimentos de las zonas de estudio. Cabe resaltar que, para delimitar las áreas de las zonas de estudio se creó una malla de 1 km² que cubrió toda el área de influencia.

f. Cálculo de la Pérdida de Suelo

Para calcular la pérdida de suelo, se tomaron datos de las dos áreas de estudio: Zona verde y zona desnuda, para luego realizar los cálculos con la fórmula correspondiente al *Método Namba*. Para ello se consideró los datos de información de la precipitación promedio anual de los últimos 22 años, el desnivel máximo de cotas en la cuenca alta además de la relación entre áreas del suelo desnudo y las áreas cubiertas con vegetación.

También, para realizar los cálculos por el Método de Namba, se necesitaron los datos de Elevación de las zonas de estudio para calcular la diferencia de altura entre el punto más alto y el más bajo de la cuenca alta. Es por ello que, usando la información de los geo portales, se elaboró un modelo de elevación DEM de la cuenca alta del Río Moche y, de acuerdo a ello, se tomó la altura de 2800 m.s.n.m como la elevación mínima de la parte alta de la cuenca para ambas zonas de estudio, para luego restarla con el punto más alto de la cuenca, el cual viene a ser la cabecera de esta, teniendo una altura de 4280 m.s.n.m. En primer lugar, los volúmenes de las áreas de estudio obtenidos mediante el método de Namba, se compararon en base a la Tabla 2 el cual pertenece al “Aporte medio de sedimentos según el tamaño de la cuenca”. Luego de ello, se procedió a hacer la conversión de unidades a t/ha/año, ya que se comparó con la Tabla 3 que pertenece a la “Riesgos de erosión de acuerdo a las pérdidas de suelo establecido por la FAO”.

g. Precipitación de la estación meteorológica de Salpo

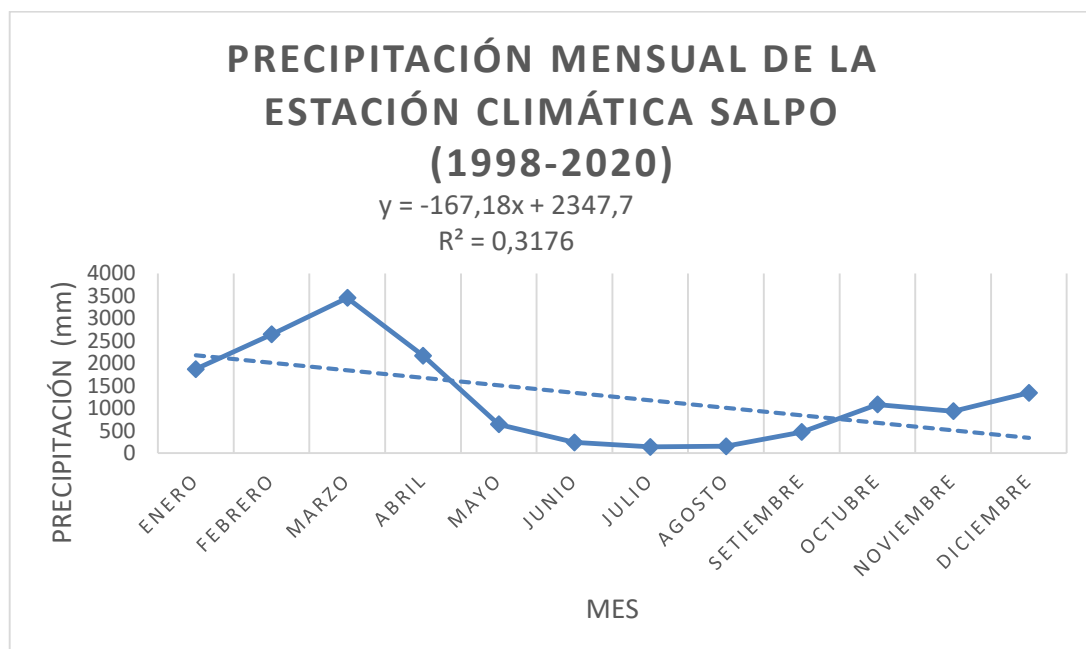
Precipitación periodo 1998 – 2019: Estación Salpo

De acuerdo a los datos de la precipitación obtenidos de la información de la estación meteorológica de Salpo del SENAMHI, se detallaron las precipitaciones acontecidas mensuales por cada año dentro del periodo aproximado de 22 años (1998 - 2020), tal como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Precipitación Mensual, periodo 1998 – 2020: Estación Salpo

Mes	Precipitación (mm)
Enero	1868.8
Febrero	2640.4
Marzo	3453.4
Abril	2168.1
Mayo	641.1
Junio	239.7
Julio	139.1
Agosto	153.6
Setiembre	470.4
Octubre	1083.7
Noviembre	931.8
Diciembre	1341.9
Total general	15132
Promedio	1592.94

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la ANA.

Figura 3. Precipitación Mensual, periodo 1998 – 2020: Estación Salpo

Fuente: Elaboración propia.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Determinación de la cantidad de suelo perdido

Debido a que, para hacer los cálculos para el Método de Namba, se utilizaron los datos de las precipitaciones del periodo 1998 – 2020; para ello se tomó en cuenta dos épocas que, gracias a al Gráfico 4, logramos deducir dos épocas significativas que nos ayudaran a comparar la erosión hídrica de las zonas de estudio. Estas dos épocas la denominamos: *Época de Altas Precipitaciones*, que abarca los meses desde **octubre hasta abril**, y *Época de Bajas Precipitaciones*, que va desde el mes de **mayo a septiembre**.

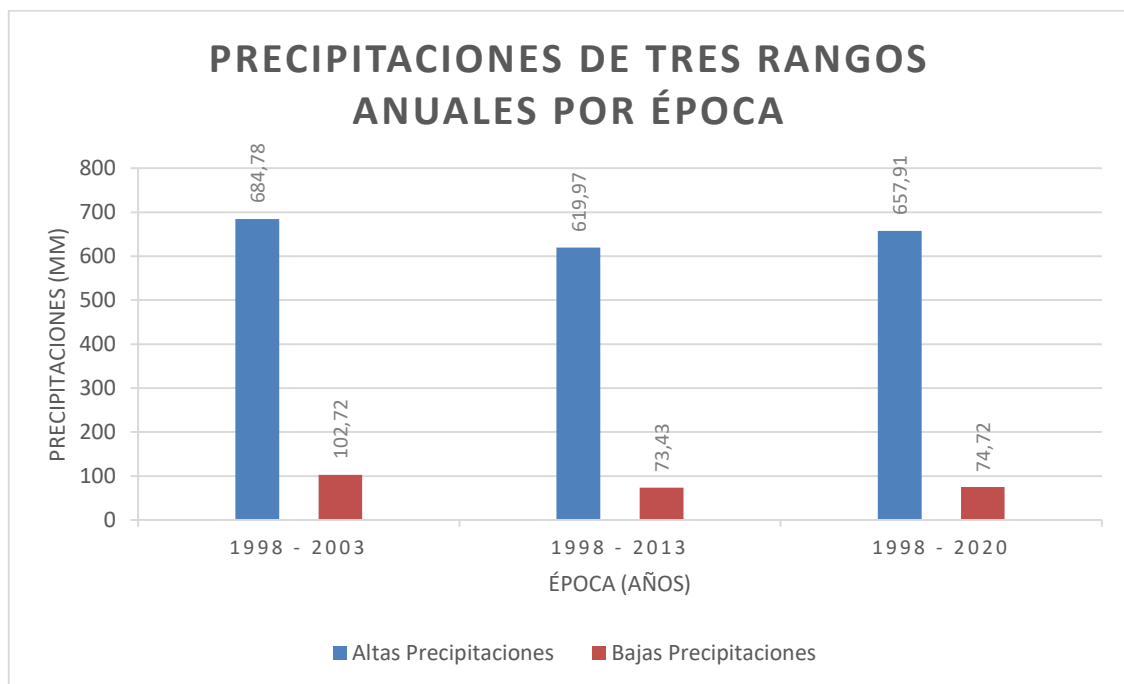
A continuación, se presenta en la **Tabla 4** la recopilación detallada y resumida de las tablas de precipitaciones anteriores:

Tabla 4. Precipitaciones de tres rangos anuales por época

Época	1998 - 2003	1998 - 2013	1998 - 2020
Altas Precipitaciones	684.78 mm	619.97 mm	657.91 mm
Bajas Precipitaciones	102.72 mm	73.43 mm	74.72 mm

Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Precipitaciones de tres rangos anuales por época



Fuente: Elaboración propia

Áreas de zonas de estudio

En el proceso de delimitación de zonas – usando el programa de Google Earth – no se consideraron como zonas desnudas a las carreteras ya que, en un área de 1 km², el área de estas no sería relevantes por considerarse muy pequeñas. Por otro lado, las parcelas agrícolas de las zonas verdes se consideraron como zonas verdes, ya que en esa zona la agricultura es muy practicada y tales parcelas suelen ser usadas varias veces al año, también se consideró como zona verde las áreas cercanas a los ríos, ya que esas zonas suelen estar con cobertura vegetal la mayor parte del año como parte de su formación natural.

2. Aporte de Sedimentos (Pérdida de suelo) 2003, 2013 y 2020

Teniendo los resultados de la **Tabla 4** de Precipitaciones de tres rangos anuales por época, además de contar con el desnivel máximo de cotas en la cuenca alta, siendo esta el de **1480 m.s.n.m.** (4280 – 2800 m.s.n.m), y por ultimo las delimitaciones de las áreas en km² de las zonas de estudio, se procede a hacer los cálculos usando el Método de Namba.

En las siguientes dos tablas se muestran los resultados de los cálculos de gabinete que se obtuvieron por Método de Namba de las dos zonas de estudio en tres años diferentes por épocas de precipitaciones.

Podemos ver en la **Tabla 5** el aporte de sedimentos es mayor que en la **Tabla 6** que pertenece a la época de bajas precipitaciones en la zona verde.

▪ Zona Verde

Tabla 5. Aporte de sedimentos en la Época de Altas Precipitaciones

Fecha	2003	2013	2020
PP (mm)	684.78	619.97	657.91
Área Verde (Km ²)	0.939335	0.947736	0.945698
Área Desnudo (Km ²)	0.060665	0.052264	0.054302
F%	1548.40	1813.36	1741.55
AS (m ³ /km ² -año)	721.22	671.03	690.58

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Aporte de sedimentos en la Época de Bajas Precipitaciones

Fecha	2003	2013	2020
PP (mm)	102.72	73.43	74.72
Área Verde (Km ²)	0.939335	0.947736	0.945698
Área Desnudo (Km ²)	0.060665	0.052264	0.054302
F%	1548.40	1813.36	1741.55
AS (m ³ /km ² -año)	551.26	511.44	520.29

Fuente: Elaboración propia

Recordando que el área de la cuenca alta es de 904 km² y viendo los resultados de las **Tablas 5** y **6** pertenecientes a la Zona Verde, pero en diferentes épocas, hacemos la comparación con la **Tabla 2** titulada “Aporte medio de sedimentos según el tamaño de la cuenca”, en donde podemos ver que la cuenta alta del río Moche esta entre el rango de 259 a 2590 km², lo que nos dice que el aporte medio de sedimentos debería de ser 481 m³/km²-año. También se puede distinguir que el aporte de sedimentos en la época de altas precipitaciones es mayor a los de bajas precipitaciones, lo que nos enfatiza lo importante que es el factor meteorológico de las precipitaciones en un estudio de erosión hídrica por aporte de sedimentos.

▪ **Zona Desnuda**

Tabla 7. Aporte de sedimentos en la Época de Altas Precipitaciones

Fecha	2003	2013	2020
PP (mm)	684.78	619.97	657.91
Área Verde (Km ²)	0.039228	0.036564	0.041117
Área Desnudo (Km ²)	0.960772	0.963436	0.958883
F%	4.08	3.80	4.29
AS (m ³ /km ² -año)	903.45	884.56	895.58

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Aporte de sedimentos en la Época de Bajas Precipitaciones

Fecha	2003	2013	2020
PP (mm)	102.72	73.43	74.72
Área Verde (Km ²)	0.039228	0.036564	0.041117
Área Desnudo (Km ²)	0.960772	0.963436	0.958883
F%	4.08	3.80	4.29
AS (m ³ /km ² -año)	733.48	724.97	725.28

Fuente: Elaboración propia

De la misma forma, en las **Tabla 7 y 8** que muestran resultados mayores al aporte medio de sedimentos para el tamaño de la cuenca alta, además de también presentar una diferencia en los valores de la época de altas precipitaciones y en las de bajas.

Posteriormente, teniendo los datos de las **Tablas 5 a 8** se hizo la conversión a *t/ha-año* para hacer la comparación con la **Tabla 3** de Riesgos de erosión de acuerdo a las pérdidas de suelo establecido por la FAO. Se usó esta tabla ya que es uno de los parámetros más usados en investigaciones de erosión hídrica, además de ser necesario para poder conocer el grado de erosión que presenta las zonas de estudio.

Tabla 9. Aporte de sedimentos (t/ha/año) de Época de Altas Precipitaciones en la Zona Verde

Fecha	2003	2013	2020
AS (t/ha/año)	7.21	6.71	6.91

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 9, los resultados de la conversión muestran que, en la zona verde en tiempos de altas precipitaciones, la erosión es de grado 3 con un riesgo de erosión **moderada**, ya que se encuentra dentro del rango de 5-15 t/ha/año, según los riesgos de erosión por pérdida de suelo establecido por la FAO (Tabla 3).

Tabla 10. Aporte de sedimentos (t/ha/año) de Época de Bajas Precipitaciones en la Zona Verde

Fecha	2003	2013	2020
AS (t/ha/año)	5.51	5.11	5.20

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 10 se muestran valores menores a la Tabla 9, debido a que son de la época de bajas precipitaciones, sin embargo, al igual que en la Tabla 9, están en el grado 3.

Tabla 11. Aporte de sedimentos (t/ha/año) de Época de Altas Precipitaciones en la Zona Desnuda

Fecha	2003	2013	2020
AS (t/ha/año)	9.03	8.85	8.96

Fuente: Elaboración propia

Para la Tabla 11, los valores de aporte de sedimentos aumento aproximadamente 2 toneladas más que los resultados de la Tabla 9. Según los parámetros de la FAO, también es una erosión **moderada** con grado 3 de erosión, con un rango de 5-15 t/ha/año.

Cabe resaltar que, los resultados de las Tablas 9 y 11 son de la época de altas precipitaciones con la diferencia de que la primera tabla pertenece a la zona verde, y la de la Tabla 11, a la zona desnuda.

Tabla 12. Aporte de sedimentos (t/ha/año) de Época de Bajas Precipitaciones en la Zona Desnuda

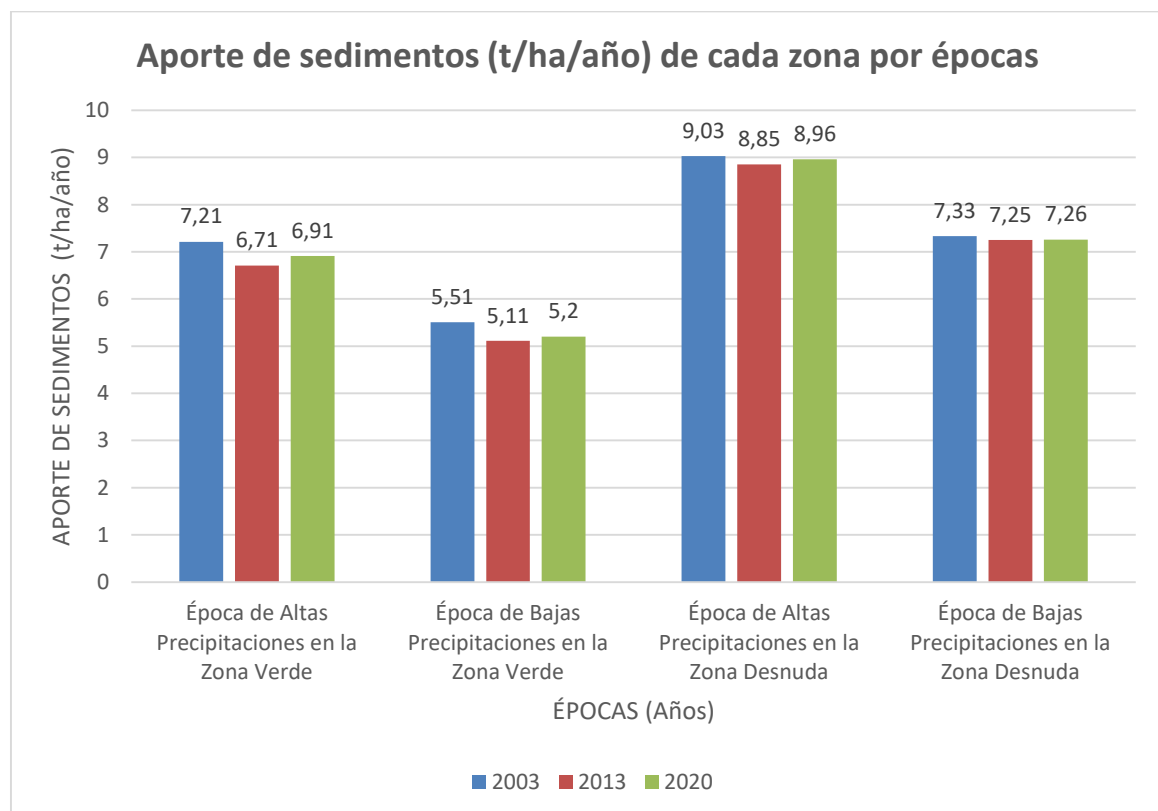
Fecha	2003	2013	2020
AS (t/ha/año)	7.33	7.25	7.26

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 12 los resultados del aporte de sedimentos para la época de bajas precipitaciones, como se esperaba, también es menor a los de altas precipitaciones y también perteneciendo al rango de una erosión **moderada**.

A continuación, se muestra el **Figura 5** en donde se resume los aportes de sedimentos dividido entre las dos épocas de precipitaciones en cada uno de los tres años estudiados.

Figura 5. Aporte de sedimentos (t/ha/año) de cada zona por épocas

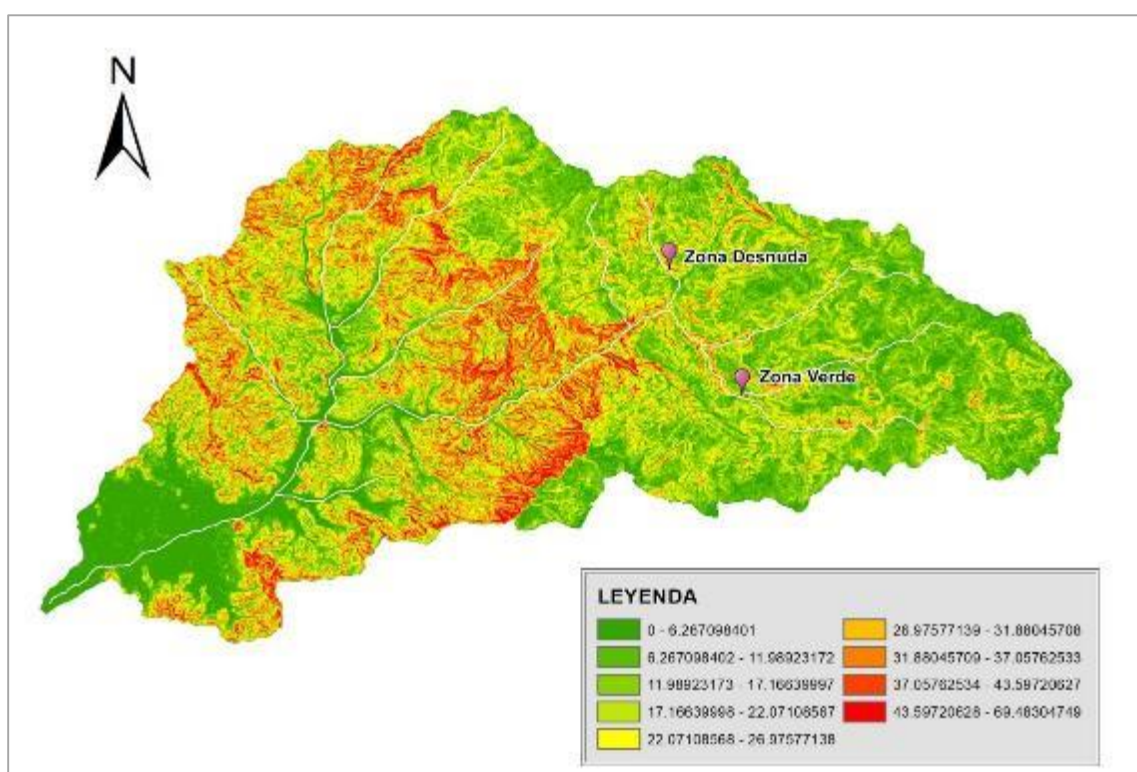


Fuente: Elaboración propia.

3. Orientación de la pendiente: Dirección de la erosión

Usando el programa Arcgis, primero se procedió a elaborar la Figura 6: Modelo de pendiente, en el cual que nos mostró el tamaño mínimo de las pendientes tiene la cuenca del Río Moche, siendo la inclinación mínima de 0 a 6.7%, representado de color verde, y la máxima inclinación de 43.6 a 69.5% correspondiente al color rojo.

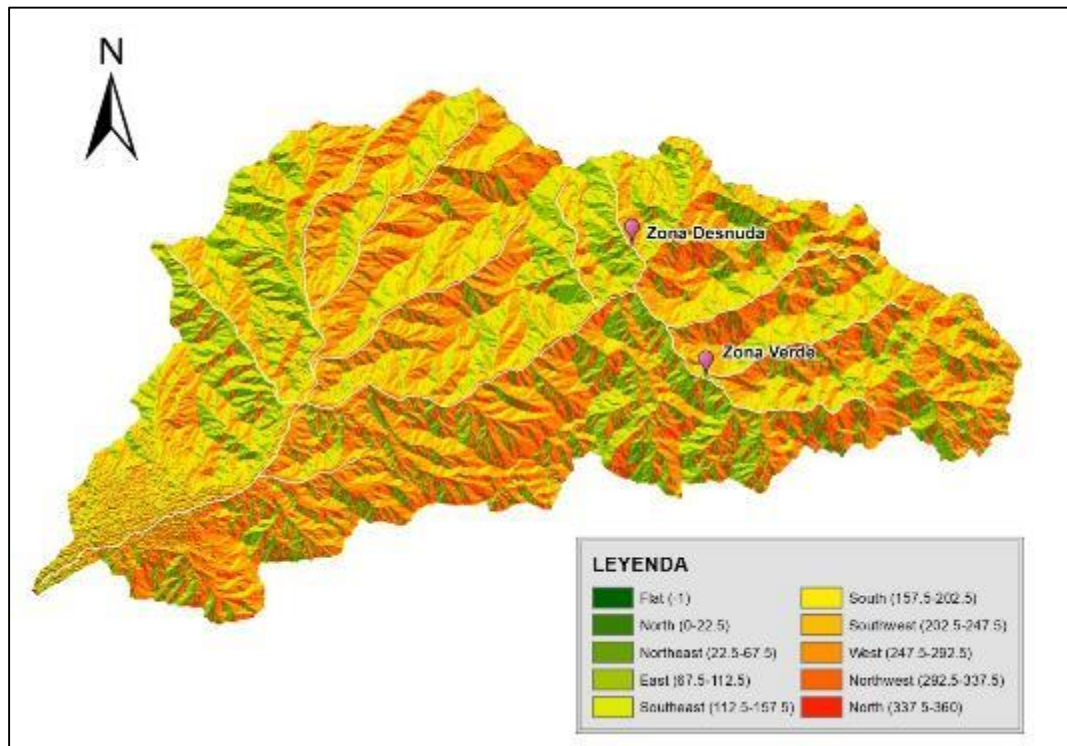
Figura 6. Pendientes (%) de la Cuenca del Río Moche



Fuente: Elaboración propia.

Tomando como base el mapa de la Figura 6, se elaboró el mapa de la Figura 7: Orientación de la pendiente, que también lo podemos llamar mapa de Dirección de la Erosión. En este mapa podemos ver que, en nuestras dos áreas de estudio, la dirección de la erosión de la zona desnuda va desde el este al suroeste, y en el caso de la zona verde desde el noreste, noroeste y suroeste.

Figura 7. Orientación de la pendiente: dirección de la erosión de la Cuenca Alta del Río Moche



Fuente: Elaboración propia.

4. Medidas de mitigación

Desarrollar plan de medidas de mitigación en la cuenca Alta del Río Moche, que tengan como finalidad evitar o disminuir los impactos negativos de la erosión hídrica, debe ser primordial, ya que el nivel de erosión en ambas zonas de estudio es de un nivel moderado con grado 3, por lo que puede tomar acciones para controlar el problema antes de que empeore. Dentro de las medidas de mitigación de impactos negativos por la pérdida de suelo está el rescate y acopio de las capas del suelo vegetal y hacer la disposición en áreas destinadas a la revegetación o reforestación; por otro lado, algunas medidas para mitigar los impactos por erosión hídrica es la aplicación de mulch orgánico alrededor de las plantas, ya que se ha comprobado por otros investigadores que sirve como protector ante los cambios bruscos de climas, incluido las fuertes precipitaciones; también, con el apoyo del Ministerio del Ambiente (MINAM), Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), gobierno regional de La Libertad, o cooperaciones internacionales (Cooperación GIZ, JICA, etc), se puede hacer obras de infiltración y de conducción de escorrentías superficiales, para así evitar que afecten indiscriminadamente a áreas

vegetales o forestales, no olvidando también considerar alguna construcción que ayuden a reducir la energía cinética de la escorrentía superficial que descienden desde las laderas.

5. Impactos negativos

Dentro de los impactos negativos de la erosión hídrica a causa del aporte de sedimentos está la pérdida de los nutrientes del suelo a causa del fuerte arrastre de las escorrentías superficiales, la cual afecta en gran medida la capacidad productiva de dicho suelo y, en consecuencia, la actividad económica de los agricultores de la zona.

Los impactos negativos son más extremos en los suelos desnudos que no tienen protección vegetal ni forestal, como es la compactación del suelo, que impide la adecuada infiltración del agua y, por consiguiente – si fuera el caso – la percolación hacia los pozos de agua subterránea, afectando a las comunidades que se abastecen de estas reservas de agua naturales.

La escorrentía superficial que recorre por las laderas sin cobertura vegetal arrastrará grandes cantidades de suelo y otros sólidos que encuentre en su trayecto, esto aumentará el volumen de sólidos en la escorrentía debido a su alto nivel de turbidez – propio del aporte de sedimentos – que finalmente terminará desembocando en el río principal de la cuenca, este, posteriormente, será captado por los canales de uso para riego y bebida de animales, en diversas comunidades de la provincia, lo cual afectará a muchos agricultores y ganaderos en su economía y producción agropecuaria.

6. Discusión de los aportes de sedimentos

Los resultados en m^3/km^2 -año del método de Namba en la cuenca alta del Río Moche, según la Tabla de Namba, nos muestra que para el tamaño de la cuenca alta ($904 km^2$) la erosión es mayor al promedio establecido para el tamaño de la cuenca, además, los valores obtenidos pertenecerían a una cuenca con un área de entre 25.9 a $259 km^2$. Este tipo de resultados puede variar abismalmente como en el caso de Bribiesca, Sánchez & González (2018) quienes hicieron una comparación de varias metodologías de cálculo de la erosión hídrica de un solo lugar, y con el método de Namba obtuvieron un resultado de $817,292.52 m^3/km^2$ -año para una cuenca de $548.86 km^2$, y valores mucho menores con otro tipo de metodología. Teniendo estos resultados, se hizo una conversión de unidades a $t/ha/año$, debido a que es una de las unidades más usadas por diversos investigadores nacionales e internacionales, además de que se necesitaba saber qué tipo de riesgo y grado de erosión había en las zonas de estudio. Los resultados arrojaron tasas de erosión

moderada con grado 3 según la Tabla de Riesgos de erosión por pérdida de suelo establecido por la FAO – que es la más usada en diversas investigaciones nacionales e internacionales – para ambas épocas de altas y bajas precipitaciones. Resultados similares fueron reportados en un estudio que también fue realizado en la cuenca alta del Río Moche por Loli & Huerta (2014), quienes documentaron pérdidas de suelo por erosión hídrica, en Huangamarca y Pollo, en el orden de 7.29 y 33.40 t/ha/año respectivamente. Los resultados de ambos estudios – de la presente investigación como el de Loli & Huerta (2014) – sobrepasan la tolerancia establecida por la FAO, que es de 0.4 a 1.8 t/ha/año, lo que conlleva a un peligro latente, puesto que, los suelos agrícolas pueden perder su capacidad productiva, además de afectar el ecosistema del lugar.

El haber calculado el Aporte de Sedimentos (AS) en dos épocas climáticas diferentes – época de altas y bajas precipitaciones – nos da una visión más amplia de lo significativo que son las precipitaciones en la erosión hídrica. Evidenciando que, en la época de altas precipitaciones, en ambas zonas, el aporte de sedimentos es mayor al de las bajas precipitaciones, variando entre 2 toneladas aproximadamente para los tres años. Es claro que, en la época de altas precipitaciones, la intensidad de la lluvia $[P(mm)/t(h)]$ en la sierra de La Libertad varía entre ligera a moderada, sumándole a esto, las pendientes de la cuenca alta las cuales son muy empinadas y altas (ver Figura 6), por lo que el arrastre de suelo es inevitable debido a la Energía Cinética, y esto sucede más en la zona desnuda, en donde no hay cubierta vegetal ni forestal en las laderas, ocasionando que el suelo tenga poca capacidad de infiltración (Ares, M., Varni, M. & Chagas, C., 2014), provocando que la escorrentía superficial que baja desde las laderas de la cabecera la cuenca o microcuenca – el cual tiene la pendiente más alta – llegue a la parte baja con mucha fuerza arrastrando violentamente el suelo y sus nutrientes hasta desembocar en el río principal de la cuenca ocasionando erosión en esa parte del suelo, así también lo evidenció Febles y Vega (2016) quienes concluyeron que los sectores con mayor susceptibilidad a la erosión hídrica se encontraban en la ladera Norte de su área de estudio, producto de la longitud de su pendiente y en la ladera Sur debido al declive.

Visualizando las Pendientes de la Cuenca Alta del Río Moche (Figura 6), vemos que sus pendientes son constantes y descendentes, por lo tanto, la escorrentía proveniente de la cabecera de las laderas de la cuenca va a ir descendiendo con toda fuerza hasta desembocar en su río principal: Río Otuzco. Es por ello que, el área de estudio enfocada

en la zona desnuda, al no tener cobertura vegetal ni forestal en gran parte de su área además de tener una pendiente alta, la pérdida de suelo es mucho mayor que la zona vegetal, y de acuerdo con García (2021), el cual en el tratamiento que hizo por el método de parcelas de escurrimiento, la zona desnuda fue la que más pérdida de suelo obtuvo (Tasa de Erosión) para las unidades experimentales, siendo estas 2.18 t/ha-año para el área pecuaria y 2.42 t/ha/año para el área agrícola; por consiguiente, podemos decir que, la intensidad de las precipitaciones y la vulnerabilidad del suelo ante la erosión son los factores esenciales que determinan la susceptibilidad a la erosión hídrica, así como la cubierta vegetal del suelo (mencionado en el anterior párrafo) y su conservación.

4. CONCLUSIÓN

- La erosión hídrica trae consecuencias graves en el suelo que no tiene cobertura vegetal ni forestal, debido a que, por la fuerza de impacto de las gotas de lluvia, estas compactan el suelo, impidiendo que el agua se infiltre, afectando en su capacidad de infiltración de agua – lo cual es importante en caso la población de la localidad se abastece de agua subterránea – provocando así, que se produzca mayor volumen de escorrentía superficial, aumentando el arrastre de sedimentos y otros sólidos que encuentre en su trayecto, esto aumentará el volumen de sólidos en la escorrentía debido a su alto nivel de turbidez – propio del aporte de sedimentos – que finalmente terminará desembocando en el río principal de la cuenca, este, posteriormente, será transportado por los canales, afectando de esta manera a los agricultores y ganaderos.
- La pérdida de suelo en la cuenca alta del Río Moche en los años 2003, 2013 y 2020, encontrada en la Zona Verde en la Época de Altas Precipitaciones fue de 7.21, 6.71 y 6.91 t/ha/año respectivamente, en la Época de Bajas Precipitaciones fue de 5.51, 5.11 y 5.20 t/ha/año respectivamente. Para la Zona Desnuda en la Época de Altas Precipitaciones fue de 9.03, 8.85 y 8.96 t/ha/año respectivamente, y finalmente, para la Época de Bajas Precipitaciones fue de 7.33, 7.25 y 7.25 t/ha/año para cada año respectivamente.
- En ambas zonas de estudio y épocas de precipitaciones el riesgo de erosión hídrica es moderado de grado 3 según la clasificación propuesta por la FAO (1980), lo cual superan los valores permitidos por la misma (0.4 – 1.8 t/ha/año), además, según la tabla 2 de Aporte medio de sedimentos según el tamaño de la cuenca por el método de Namba, el aporte medio de sedimentos que obtuvimos fue de un promedio de

610.66 m³/km²-año para ambas zonas de estudio de cada año y en las dos épocas climáticas, siendo un valor muy alto para el tamaño de la cuenca alta. Las pendientes elevadas y empinadas hacen que se facilite el arrastre del suelo de las laderas ocasionadas por la época de altas precipitaciones, además también se acarrea diversos residuos sólidos que vienen desde la parte alta de la cuenca hasta el río principal, esto provoca que incremente su turbidez (propio del aporte de sedimentos) y también el caudal, sobrepasando la capacidad del cauce del río Moche, provocando así, un desborde.

- Algunas de las propuestas de medidas de mitigación de impactos negativos por la pérdida de suelo está el rescate y acopio de las capas del suelo vegetal y hacer la disposición en áreas destinadas a la revegetación o reforestación, la aplicación de mulch orgánico alrededor de las plantas, realizar obras de infiltración y de conducción de escorrentías superficiales, para así evitar que afecten indiscriminadamente a áreas vegetales o forestales, también, considerar planear y ejecutar alguna construcción que ayuden a reducir la energía cinética de la escorrentía superficial que descienden desde las laderas.

5. LISTA DE REFERENCIAS

- Administración Local del Agua Moche, Virú, Chao. (2016). *Resultado del monitoreo participativo de calidad de agua de la Cuenca Río Moche, La Libertad - Perú, noviembre 2015*. (Informe N° 023-2016-ANA-ALAMVCH). Trujillo, Perú: Autoridad Nacional del Agua. Recuperado de <http://sial.segat.gob.pe/documentos/informe-tecnico-monitoreo-calidad-agua-cuenca-río-moche-octubre-2015>
- Aquabook. (s.f). *Recursos hídricos de Mendoza en su contexto regional. ¿Cómo se delimita una cuenca? [Imagen]*. Recuperado de http://aquabook.agua.gob.ar/377_0
- Ares, M., Varni, M. & Chagas, C. (2014, diciembre). *Erosión hídrica en una microcuenca agrícola bajo siembra directa del centro de la provincia de Buenos Aires*. Ciencia del Suelo. Recuperado de <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/33631>
- Aristizábal, E., Arango, M., & García, I. (2020). *Definición y clasificación de las avenidas torrenciales y su impacto en los Andes colombianos*. Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía, 29, 242-258. Recuperado de

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-215X2020000100242

Autoridad Nacional del Agua. (s.f.). *Enfoque de cuenca*. Recuperado de <https://www.ana.gob.pe/portal/gestion-del-conocimiento-girh/enfoque-de-cuenca>

Behrends, F., Chagas, C., Marré, G., Palacín, E. & Santanatoclia, O. (2013, febrero). *Desplazamiento de la ganadería por la agricultura en una cuenca de la Pampa Ondulada: Efectos sobre el escurrimiento superficial y erosión hídrica*. Ciencia del Suelo, 31(1),83-32. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/262663126_Desplazamiento_de_la_ganaderia_por_la_agricultura_en_una_cuenca_de_La_Pampa_ondulada_Efectos_sobre_el_escurrimiento_superficial_y_erosion_hidrica

Belmonte, F., Romero, A., Bermúdez, F., & Hernández, E. (1999, abril). *Óptimo de cobertura vegetal en relación a las pérdidas de suelo por erosión hídrica y las pérdidas de lluvia por interceptación*. Papeles de Geografía, 30, 5-15. Recuperado de <https://revistas.um.es/geografia/article/view/47491>

Bravo, M., Mendoza, M. & Medina, L. (2009, abril). *Escenarios de erosión bajo diferentes manejos agrícolas en la cuenca del lago de Zirahuén, Michoacán, México*. Investigaciones Geográficas. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112009000100006&script=sci_arttext

Bribiesca, M., Sánchez, S. & Gonzáles, F. (2018). *Estimación del aporte de sedimentos en la cuenca “El Tule”, México, mediante el uso de diferentes métodos empíricos*. Tomado de https://www.ina.gov.ar/congreso_hidraulica/index.php?seccion=15

Carrere, R. (30 de mayo de 2010). *Kenia: el Servicio Forestal al rescate del eucalipto*. Mouvement mondial pour les forêts tropicales. Recuperado de <https://wrm.org.uy/fr/les-articles-du-bulletin-wrm/section3/kenia-el-servicio-forestal-al-rescate-del-eucalipto/>

Chen, B., Li, L., Shi, Y., & Duffy, C. (2017, marzo). *Understanding watershed hydrogeochemistry: 1. Development of RT-Flux-PIHM*. Water Resources

- Research, 53(3), 2328-2345. Recuperado de <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2016WR018934>
- Colque, M. (2015). *Categorización de la Erosión Hídrica de la microcuenca de Ranrahirca, aplicando la Ecuación Universal de Pérdida De Suelo (Usle), Yungay-Ancash-2014* (Tesis de Grado). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Recuperado de <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/1185>
- Dourojeanni, A., Jouravlev, A., & Chávez, G. (2002). *Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica*. Santiago, Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Recuperado de <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/6407>
- Escobar, D. (2019). *Estimación de la erosión hídrica en zona semiárida del norte chileno mediante la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) : el caso de Punitaqui (IV región de Coquimbo)* (Tesis de Maestría). Universidad de Chile. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/173350>
- FAO. (17 de diciembre de 2015). *Erosión, pérdida de carbono orgánico y salinización son las principales amenazas a los suelos de América Latina y el Caribe*. Recuperado de <http://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/360627/>
- FAO. (2015). *Estado Mundial del Recurso Suelo. Resumen Técnico*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>
- Febles, J. & Vega, M. (2016, Setiembre). *Estimación del aporte de la erosión hídrica al azolve del embalse Mampostón*. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 37(3), 18-30. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382016000300002
- Gaitan, J., Navarro, M., Tenti, L., Pizarro, M., & Carfagno, P. (2017). *Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina*. Argentina: Ediciones INTA. Recuperado de <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/1981>
- García, J. (2021). *Evaluación de la erosión hídrica mediante diferentes técnicas de medición en dos condiciones de manejo en el centro de México* (Tesis de

- Maestría). Universidad Autónoma Chapingo. Recuperado de <http://repositorio.chapingo.edu.mx:8080/handle/20.500.12098/783>
- Gracia, J. (s.f.). *Pérdida de suelos en cuencas. Manual de Ingeniería en Ríos. (1-47)*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de
- Guerra, F., & González, J. (2002). *Caracterización morfométrica de la cuenca de la quebrada La Bermeja, San Cristóbal, Estado Táchira, Venezuela*. *Geoenseñanza*, 7, 88-108. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36070208>
- http://eias.utalca.cl/isi/publicaciones/unam/perdida_de_suelo%20en_cuencas.pdf
- Huerta, P. & Loli, O. (2014, enero). *Erosión hídrica en la cuenca alta del río Moche*. *Ecología Aplicada*, 13, 15-22. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-22162014000100002&script=sci_arttext
- Laqui, F. (2019). *Estimación de la erosión y transporte potencial de sedimentos hasta el eje de la futura represa Callazas en sub-cuenca del río Callazas en la región Tacna-Perú* (Tesis de Grado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Recuperado de <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/626410>
- Leite, H. (2010). *Relações de aporte de sedimento e implicação de sua utilização no pagamento por serviço ambiental em bacias hidrográficas*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34(4), 1469-1477. Recuperado de <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/st9VTPrQnqMS4kts6TtgZRY/abstract/?lang=pt>
- Luna, L., Moreno, F., Roldán, J., & Cienfuegos, I. (2011). *Influencia de la vegetación en el balance hídrico superficial de la cuenca hidrológica de "El Cabril"*. *Ingeniería del agua*, 1-9. Recuperado de http://www.ingenieriadelagua.com/2004/jia/jia2011/html/Au_L.html
- Magliano, P., Fernández, R., Giménez, R., Marchesini, V., Páez, R. & Jobbágy, E. (2016, agosto). *Cambios en la partición de flujos de agua en el Chaco Árido al reemplazar bosques por pasturas*. *Ecología Austral*, 26 (02), 95-106. Recuperado de https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/collection/ecologiaaustral/document/ecologiaaustral_v026_n02_p095

- Meyer, F. (1994, julio). *Topographic distance and watershed lines*. Signal Processing, 38 (1), 113-125. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0165168494900604>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2015). *Cuencas e hidrografía*. Recuperado de <https://www.minagri.gob.pe/portal/54-sector-agrario/cuencas-e-hidrografia>
- Morera, B. (2010). *Dinámica de la producción de sedimentos en la cuenca del Río Santa* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina. Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1707>
- Morera, S., Condom. T., Crave, A., Vouchel, P. & Galvez, C. (2011) *Tasas de erosión y dinámica de los flujos de sedimentos en la cuenca del Río Santa, Perú*. REVISTA PERUANA GEO-ATMOSFÉRICA RPGA, 25-37. Recuperado de <https://web2.senamhi.gob.pe/?p=revista-geo-2011>
- Nosetto, M. & Jobbágy, E. (2014, enero). *Plantaciones Forestales: sus servicios e impactos*. Revista: Producción forestal, 18-20. Recuperado de <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/14643>
- Orbegozo, L. & Rodríguez, S. (2018, septiembre). *Erosión Hídrica en la sub cuenca Río Urpay utilizando el Método del Perfil, Huaraz*. Tzhoecoen: Revista científica institucional, 10, 473-481. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/327938477_EROSION_HIDRICA_EN_LA_SUB_CUENCA_RIO_URPAY_UTILIZANDO_EL_METODO_DEL_PERFIL_HUARAZ
- Pacheco, H., Cevallos, R., & Vines, C. (2019, enero). *Cálculo del factor C de la RUSLE, en la cuenca del río Carache, Trujillo-Venezuela usando imágenes del Satélite Miranda VRSS-I*. Revista Espacios, 40 (3), 6-16. Recuperado de <http://www.revistaespacios.com/a19v40n03/19400306.html>
- Pizarro, R., Morales, C., Vega, L., Olivares, C., Valdés, R., & Balocchi, F. (2009). *Propuesta de un modelo de estimación de erosión hídrica para la región de Coquimbo, Chile [Imagen]*. Obtenido de https://www.researchgate.net/figure/Figura-7-Tipos-de-erosion-hidrica-Adoptado-de-USDA-2002_fig1_269710187

- Prado, L. & Veiga, M. (1992, julio - agosto). *Relación entre erosión y pérdida de fertilidad del suelo*. Erosion de suelos en America Latina. Santiago, Chile: FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/3/t2351s/T2351S06.htm>
- Quispe, T. (2018). *Influencia de la cobertura vegetal en la erosión hídrica del suelo en la comunidad San Mateo, Perú* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina. Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3600>
- Rial, M., Varela, C., Álvarez, M., & Díaz, F. (2003). *Aporte de sedimentos de una cuenca y relación de descarga de un río de la zona húmeda española*. Edafología, 10(2), 127-133. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/260514320_Aporte_de_sedimentos_de_una_cuenca_y_relacion_de_descarga_de_un_rio_de_la_zona_humeda_espanola
- Rodriguez, W. (2019). *Evaluación de resultados del monitoreo de calidad del agua de la cuenca rio Moche – La Libertad – Perú, 2014 – 2016* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Trujillo. Recuperado de <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/15247>
- Sabino, E., Felipe, O., & Lavado, W. (2017). *Atlas de erosión de suelos por regiones hidrológicas del Perú. Nota Técnica N° 002 SENAMHI-DHI-2017*. Recuperado de <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/261>
- Sabino, E., Felipe, O., & Lavado, W. (2017). *Atlas de erosión de suelos por regiones hidrológicas del Perú* (Nota Técnica N° 002 SENAMHI-DHI-2017). Lima; Perú: SENAMHI. Recuperado de <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/261>
- Sánchez, F. (2017). *Hidrología Superficial y Subterránea*. Createspace Independent Pub. [Imagen]., 414 pp. Recuperado de https://hidrologia.usal.es/temas/Ciclo_hidrol.pdf
- Sanz, M. (2002). *Aportes de sedimentos a embalses y tasas de erosión en distintos sectores de la cuenca del Ebro*. Geogaceta, 32, 223-226. Recuperado de <http://rabida.uhu.es/dspace/handle/10272/9133>
- SEDALIB. (2018). *Diagnóstico hídrico rápido de la cuenca del río moche como fuente de agua y servicios ecosistémicos hídricos para la EPS SEDALIB S.A.*

- Recuperado de <http://www.sedalib.com.pe/upload/drive/32019/20190305-5683862528.pdf>
- Silva, M. & Quisca, S. (2016, septiembre). *El transporte de sedimentos súbito y los desbordes e inundaciones en ríos de pendiente pronunciada*. XXVII Congreso latinoamericano de hidráulica, 1-2. Recuperado de http://investigacionesyproyectoshidraulicos.com/web/Material%20Cientifico/Articulos/Mas%20de%201000%20Articulos/939_.pdf
- Somarriba, M., Obando, M., & Beltrán, J. (2005). *Manual de métodos sencillos para estimar la erosión hídrica*. Documento No. 502 PASOLAC. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/259952614_Manual_de_metodos_sencillos_para_estimar_erosion_hidrica
- Torres, E., Cortés, J., Mejía, E., Exebio, A., Santoa, A., & Delgadillo, M. (2003, enero-marzo). *Evaluación de la degradación de los suelos en la cuenca "El Josefino", Jesús María, Jalisco*. Terra Latinoamericana, 21 (1), 117-126. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/573/57321114.pdf>
- Vallejos, P., Zamora, G. & Jorge, J. (2018, junio). *Estimación de la tasa sedimentos en la cuenca minera del lago Poopo mediante el modelo potencial de erosión de suelos (EPM) y tendencias ante variaciones climáticas - Uso de herramientas SIG y teledetección*. Revista de Medio Ambiente y Minería, 4, 50-67. Recuperado de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2519-53522018000100005&script=sci_arttext
- Vargas, C. (2015). *Gestión integrada del agua de riego en la cuenca baja del Río Moche, Trujillo-Perú*. (Tesis de Maestría). Recuperado de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2793/MAS_GAA_023.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Yali, M. (2018). *Modelo de erosión Rusle y coeficiente de aporte de sedimentos (SDR) para la estimación del volumen muerto de reservorios, caso de estudio: reservorio Gallito Ciego* (Tesis de Maestría). Universidad Mayor de San Marcos. Recuperado de <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/10078>